

V-37

拡張ベイズ法による舗装の構造評価に関する研究

日本舗道(株)*	○正会員	二川 往昌
東亜道路工業(株)***		前原 弘宣
長岡技術科学大学**	学生会員	屠 偉新
長岡技術科学大学**	正会員	丸山 暉彦

1. まえがき

FWD による舗装の構造評価は、FWD 測定たわみから、舗装構成層の弾性係数を推定することによって行われている。しかしながら、逆解析問題の不安定性のために逆解析弾性係数は、工学的に理解し得ない解を得たり、同一断面の測定値を解析しても FWD の装置によって全く異なった結果を出すことがある。この問題を解決するために、舗装の事前情報を利用する拡張ベイズ法による逆解析方法が開発されている¹⁾。本研究では、測定たわみの誤差が逆解析結果に及ぼす影響、および逆解析弾性係数が舗装の構造状態を把握できているかを検討し、これらによって拡張ベイズ法の実用性を検証した。

2. 拡張ベイズ法による逆解析

拡張ベイズ法では、各層弾性係数 $\mathbf{E}$ は評価関数(1)式を最小にすることによって求められる。また、事前情報の重み係数 β の最適値は、(2)式に示す情報量指数 I を最大にすることによって得られる。

事前情報とは、舗装の構造、構成材料、測定時の温度等によって推定される弾性係数の分布範囲である。

$$J = (\mathbf{D} - \mathbf{Z})^T \mathbf{R}_D^{-1} (\mathbf{D} - \mathbf{Z}) + \beta (\mathbf{E} - \mathbf{M})^T \mathbf{R}_M^{-1} (\mathbf{E} - \mathbf{M}) \quad (1)$$

$$I = m \cdot \ln(J/n) - \ln |\mathbf{H}^T \mathbf{R}_D^{-1} \mathbf{H} + \beta \mathbf{R}_M^{-1}| \quad (2)$$

ここで、

$\mathbf{D}$: 測定たわみベクトル	$\mathbf{R}_D$: たわみの重み係数ベクトル
$\mathbf{Z}$: 計算たわみベクトル	$\mathbf{R}_M$: 事前情報の重み係数ベクトル
$\mathbf{M}$: 弾性係数の事前情報ベクトル	m : 舗装の層数
$\mathbf{H}$: 感度マトリックス	n : たわみセンサーの数
J : 評価関数	

3. 測定たわみの誤差が逆解析結果に及ぼす影響

拡張ベイズ法による逆解析結果の信頼性を把握するために、FWD 研究会が実施した FWD 共通試験のデータを用いて、測定たわみの誤差が逆解析結果に及ぼす影響を、従来用いていた最小二乗法と比較することによって検討した。解析モデルは、逆解析結果の変動が大きい 4 層モデルを使用した。

(1) 繰り返し測定における測定誤差の影響

7 台の FWD を用い、同一箇所での 50 回繰り返し測定における各測定たわみの変動がそれぞれの逆解析結果に及ぼす影響を検討した。測定たわみの変動係数は、載荷点から 1200mm 離れた位置までは 2% 以下であり、1500mm 以上でも 4% 以下であった。この測定結果より得られた逆解析弾性係数の変動係数を図-1 に示す。拡張ベイズ法では表層および路床の弾性係数の変動係数は 10% 以下であり、路盤では 20% 台を示すものもあるが、最小二乗法を用いた結果に比べると、その変動は約 3 分の 1 であり、実用的な精度が得られるこ

キーワード：FWD、逆解析、拡張ベイズ法

*〒104 東京都中央区京橋 1-19-11

**〒940-21 長岡市上富岡町 1603-1

***〒232 横浜市中区中村町 5-318

TEL 03-3563-6751 FAX 05-3567-7058

TEL 0258-46-6000 FAX 0258-47-9600

TEL 045-251-4615 FAX 045-251-4213

とを確認した。

(2) 等間隔で測定した区間における測定誤差の影響

次に約 1.5m の区間において、等間隔に約 30 点のたわみ測定を実施した。この測定結果より得られた装置間の逆解析弾性係数の変動係数を図-2 に示す。拡張ベイズ法では各層弾性係数において、その変動係数は最大でも 25% であるのに対し、最小二乗法では路床の弾性係数以外はばらつきが多く、150%に達しているものも存在する。また、測点 13, 14 等に見られる空白の部分においては逆解析にて収束できなかったことを示している。すなわち、拡張ベイズ法を用いれば、測定誤差の影響を大幅に低減することができ、安定した解を得ることができる。

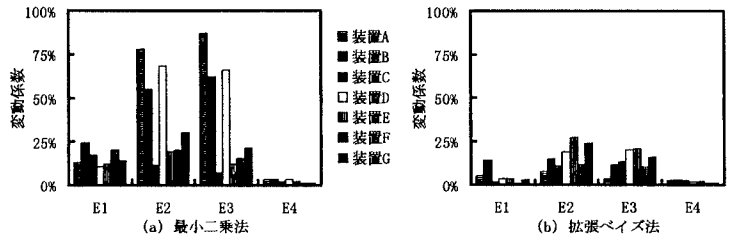


図-1 繰り返し測定における誤差が逆解析結果に及ぼす影響

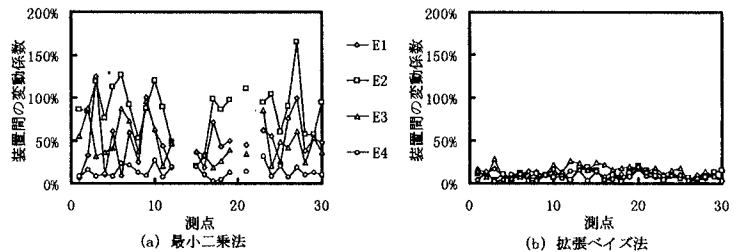


図-2 等間隔で測定した区間における誤差が逆解析結果に及ぼす影響

4. 逆解析結果を用いた舗装の評価

拡張ベイズ法による全国データ（約 1000 区間）の逆解析結果を用いて、その弾性係数から舗装の評価をすることが可能か、B 交通を例に挙げ検討した。その結果を図-3 に示す。

5t 許容荷重輪数は、多層弾性理論によりアスファルト混合物下面の引張りひずみを求め、アスファルト舗装要綱が提案している疲労クラックに対する破壊規準式を用いることにより求めた。

図-3 より、荷重点直下のたわみ D0 と 5t 許容荷重輪数との間には高い相関があり、既往の研究結果と一致した。また、B 交通の設計換算輪数を中心として、ひびわれ区間は左部に、良好区間は右部に分布しており、理論に一致した結果となった。これらより、拡張ベイズ法を用いれば、既存舗装の構造状態を評価することが可能であり、舗装の残存寿命を推定することができる。

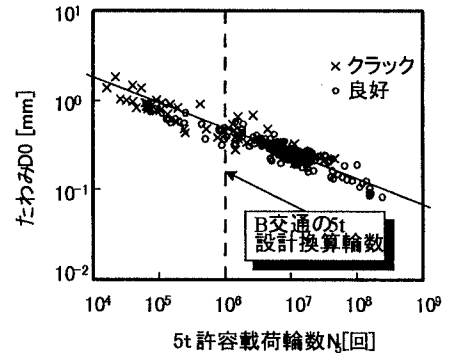


図-3 逆解析結果を用いた舗装の評価

5. まとめ

以上の結果から、拡張ベイズ法を用いれば、測定たわみの誤差の影響を低減することができる。また、舗装の良否を判断することができ、寿命を推測することが可能である。これらより、拡張ベイズ法による逆解析方法の実用性が期待される。

【参考文献】1) 屠偉新, 丸山暉彦, 高橋修: 拡張ベイズ法による舗装弾性係数の逆解析に関する基礎的研究, 舗装工学論文集, Vol.1, pp.15-22, 1996.